

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ДИСКРЕТНО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЁДА И ПРОПЛАВЛЯЕМОЙ (ДУ ВУПГ) ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

докт. техн. наук, профессор,
заслуженный энергетик РФ

И. И. Левченко

докт. техн. наук, доцент

Е. И. Сацук

инженер

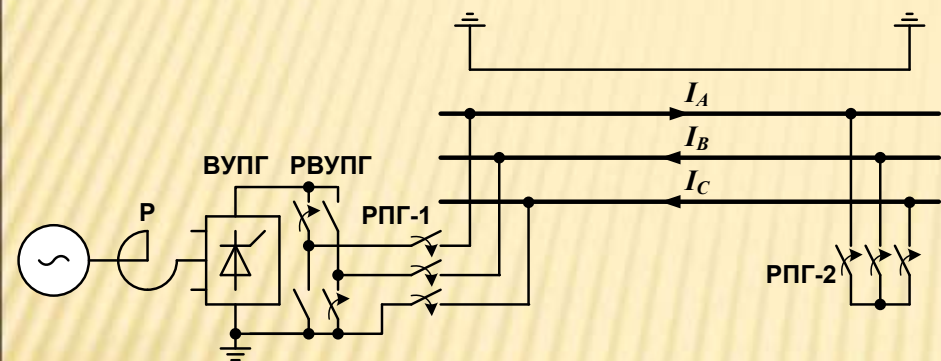
С. С. Шовкопляс

г. Сочи - 2015

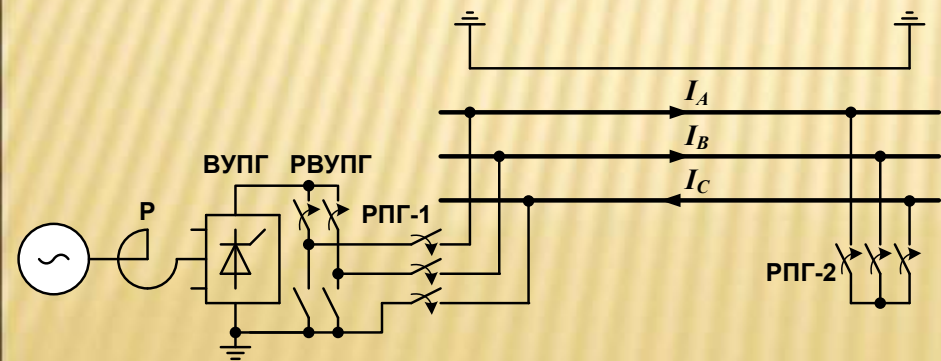
СУЩЕСТВУЮЩИЕ СХЕМЫ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ВУПГ, ВУКН, В-ТППД, В-ТПП

Плавка гололёда на проводах линии осуществляется постоянным током от ВУКН, В-ТППД, В-ТПП, ВУПГ поочередно (циклами).

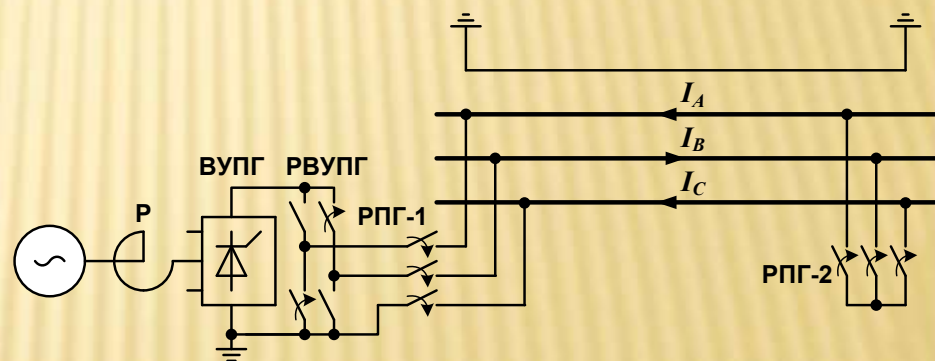
Сборка схем плавки «фаза – две фазы», «фаза - фаза» производится оперативным персоналом разъединителями РВУПГ при снятом напряжении, что значительно увеличивает общее время плавки гололеда.



«фаза – две фазы» 1-й цикл (А-В//С)



«фаза – две фазы» 3-й цикл (С-А//В)



«фаза – две фазы» 2-й цикл (В-С//А)

ДИСКРЕТНО УПРАВЛЯЕМАЯ ВЫПРЯМИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ И ГРОЗОТРОСЕ ИМПУЛЬСАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

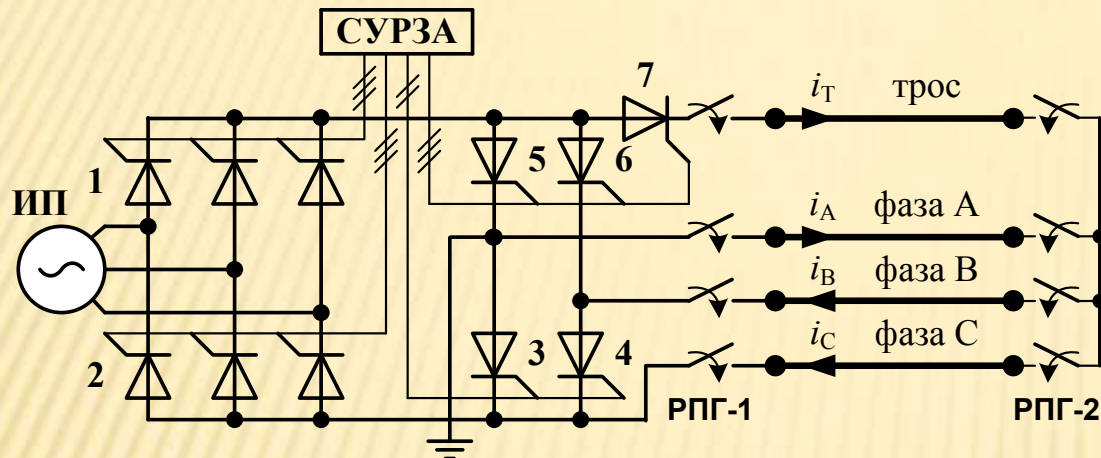
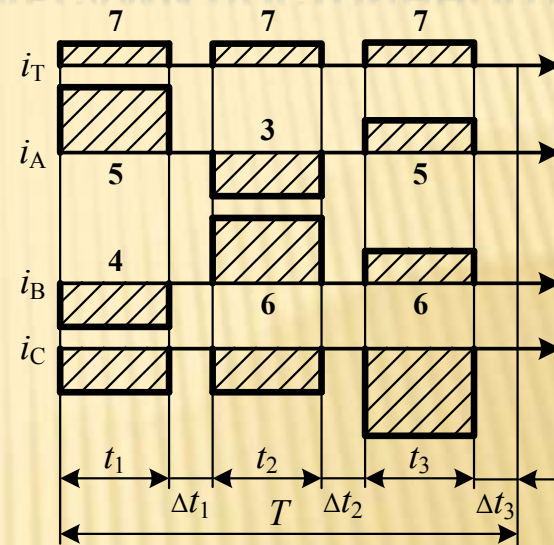


Схема ДУ ВУПГ в режиме постоянного тока для первого рабочего интервала



Временные диаграммы токов (цифрами обозначены включённые вентили)

Сборка схем плавки гололеда «трос, фаза - две фазы» (либо «трос, фаза – фаза») производится автоматически системой управления без переключений оперативным персоналом в первичной схеме. Смотри временные диаграммы токов. Действующие значения токов в фазах ВЛ (I_A , I_B , I_C) определяются длительностями рабочих интервалов (t_1 , t_2 , t_3 , мин) и бестоковых пауз (Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 , не более 1 с) за период повторяемости (T , десятки мин). Например, для ВЛ 110 кВ с проводом марки АС120/19 при температуре воздуха -5°C , скорости ветра 5 м/с и толщинах стенки гололедной муфты: фаза А 25 мм, В – 30 мм, С – 20 мм (неравномерный гололёд по фазам), получим параметры режима:

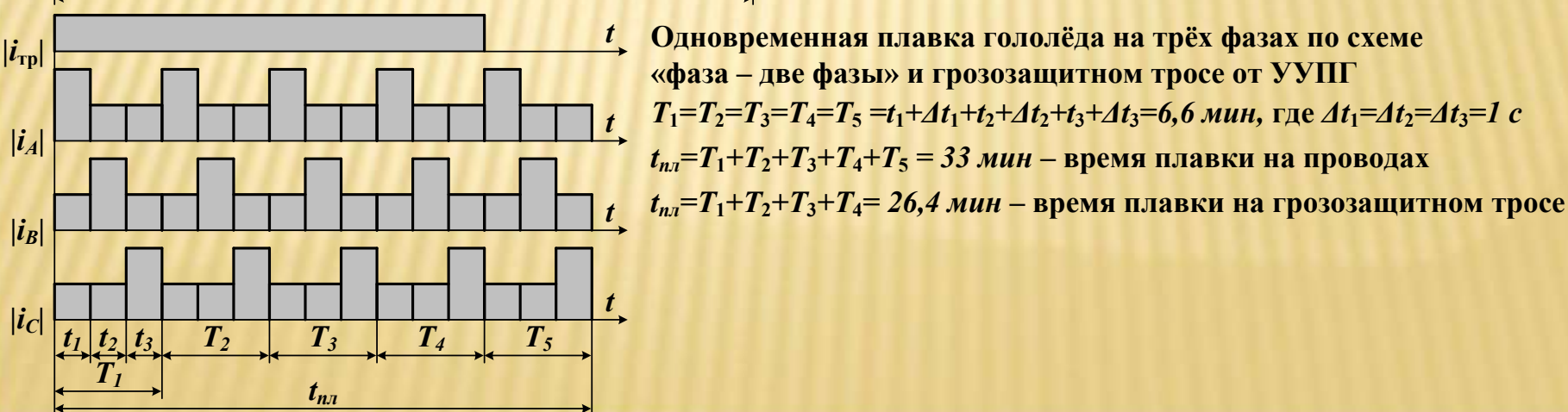
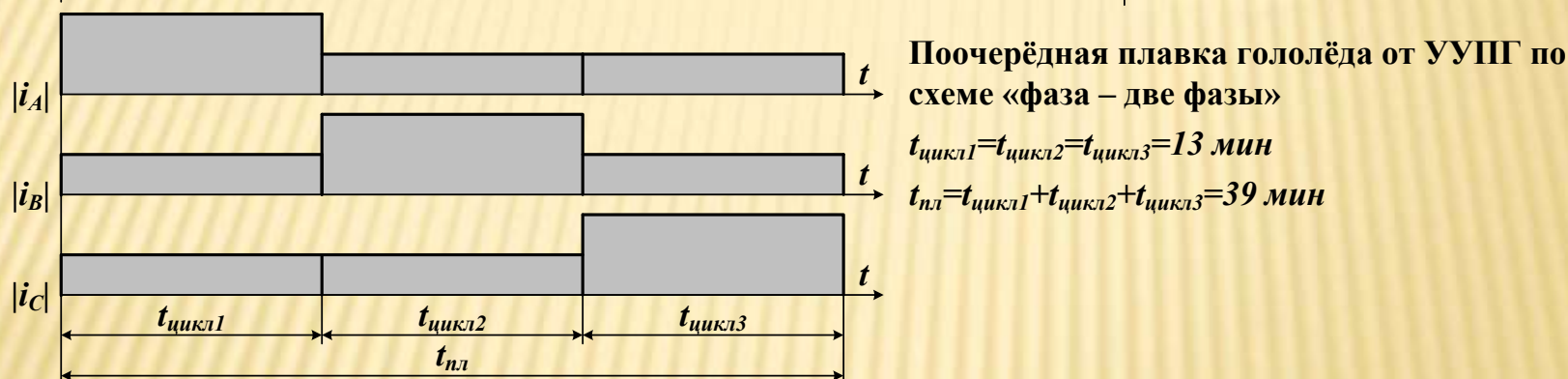
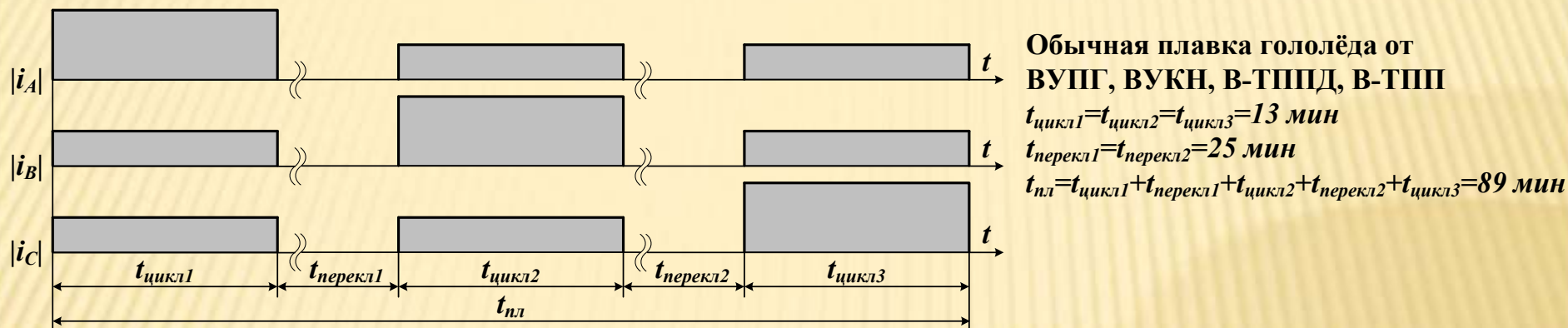
- рабочие интервалы времени $t_1=80$ с, $t_2=106$ с, $t_3=54$ с и паузы $\Delta t_1=\Delta t_2=\Delta t_3=1$ с;
- период повторяемости $T=4$ мин.; время плавки $t_{\text{пл}}=40$ мин;
- действующие значения токов за период повторяемости $I_A=684$ А, $I_B=737$ А, $I_C=626$ А.

ПРЕИМУЩЕСТВА ДИСКРЕТНО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

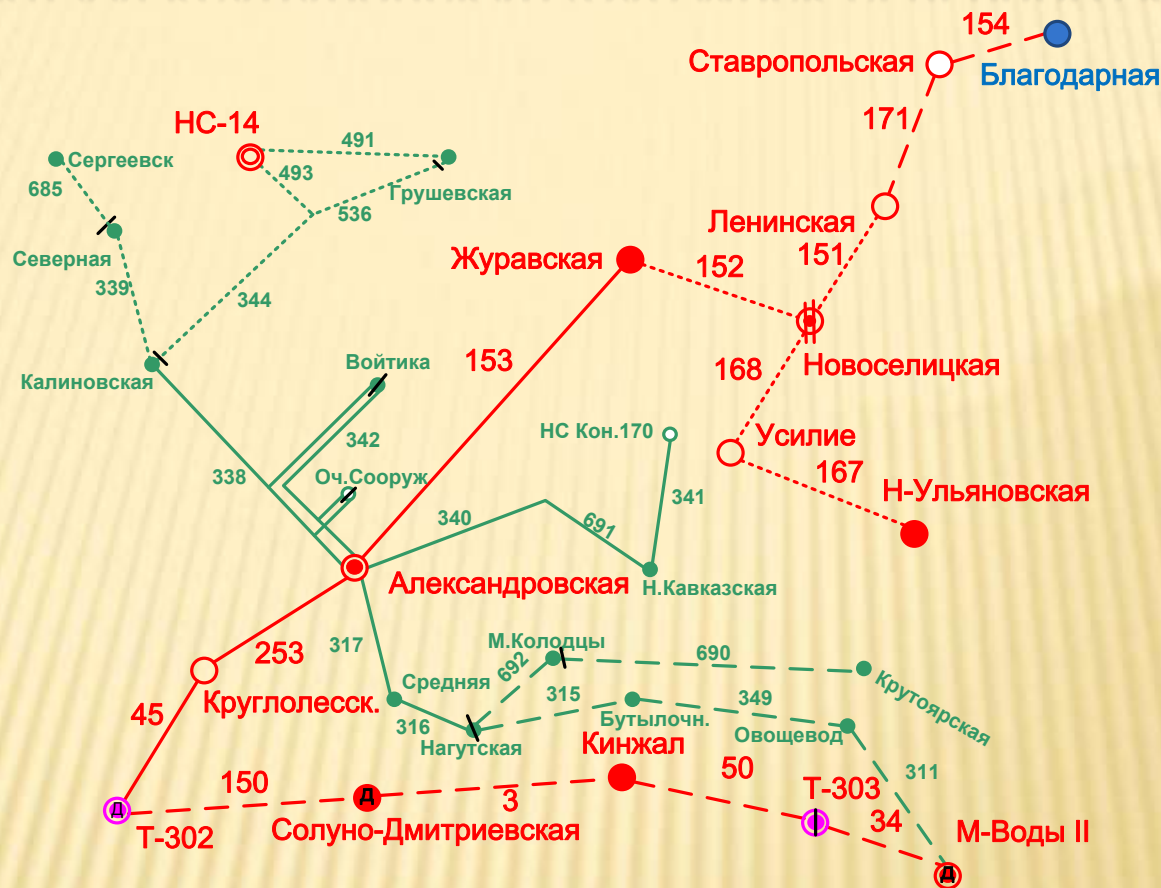
ДУ ВУПГ имеет преимущества по сравнению:

- с плавкой переменным током – меньшее напряжение и мощность ДУ ВУПГ, возможность применения для проводов и тросов различных марок и длин ВЛ;
- с неуправляемой установкой постоянного тока (ВУКН, В-ТППД) – возможность применения для проводов и тросов различных марок и длин ВЛ, одновременная плавка на трёх фазах без дополнительного расхода электроэнергии на нагрев фаз, где гололёд уже расплавлен, снижение общего времени плавки гололёда и расхода электроэнергии, значительное сокращение времени на переключения схем «фаза - фаза» и «фаза - две фазы»;
- с управляемой выпрямительной установкой (В-ТПП, ВУПГ) с фазоимпульсным управлением – одновременная плавка на трёх фазах, обеспечение угла управления близким к нулю, что не приводит к увеличению реактивной мощности, искажению формы (гармоники), снижению потерь активной мощности в питающей электрической сети, значительное сокращение времени на переключения схем «фаза - фаза» и «фаза - две фазы».

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЁДА НА ПРОВОДАХ ВЛ С ПРОВОДАМИ МАРКИ АС120/19 И ГРОЗОТРОСЕ МАРКИ С-50



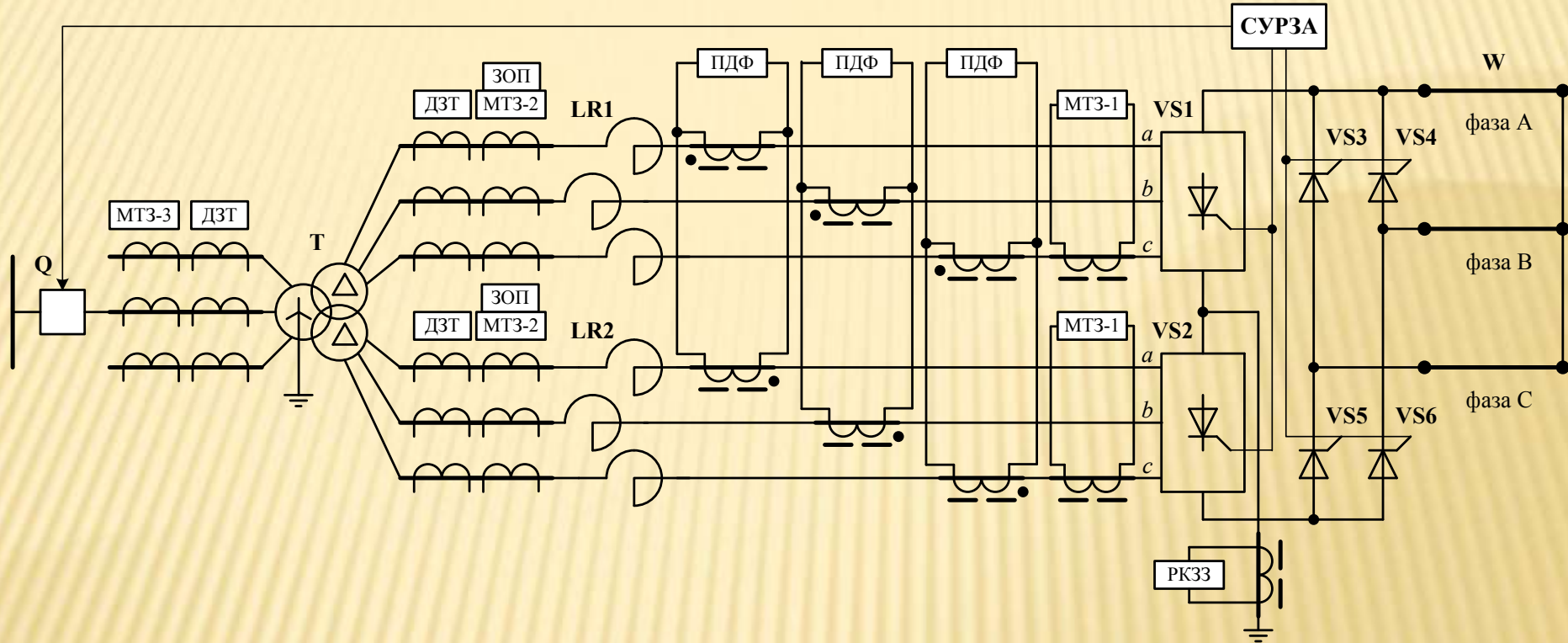
КАРТА-СХЕМА, ЛИНИИ ПРОПЛАВЛЯЕМЫЕ ОТ ДУ ВУПГ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ПС 110 КВ АЛЕКСАНДРОВСКАЯ (ОАО МРСК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА)



Показано расширение суммарной длины проплавляемых ВЛ с 225 км на переменном токе до 347 км (точечный пунктир) при использовании режима поочерёдной плавки гололеда от ДУ ВУПГ и с 225 км на переменном токе до 530 км (штриховой пунктир) при использовании «удлинителя» от ДУ ВУПГ на ПС 110 кВ Александровская.

В настоящее время ВЛ №45 и 253 проплавляются от тяговой ПС 110 кВ Т-302, что вызывает дополнительные трудности в организации плавки, а при использовании ДУ ВУПГ они будут проплавляться от ПС 110 кВ Александровская, что даёт эффект как в экономии электроэнергии, так и в сокращении времени согласования вывода в ремонт ВЛ.

ОБЩАЯ СХЕМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДИСКРЕТНО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА И ПРОПЛАВЛЯЕМОЙ ВЛ



ДЗТ – дифференциальная токовая защита трансформатора Т

МТЗ – максимальные токовые защиты

ЗОП – защита от обрыва провода (защита минимального тока)

ПДФ – поперечная дифференциальная фазная защита

РКЗЗ – защита от коротких замыканий на землю

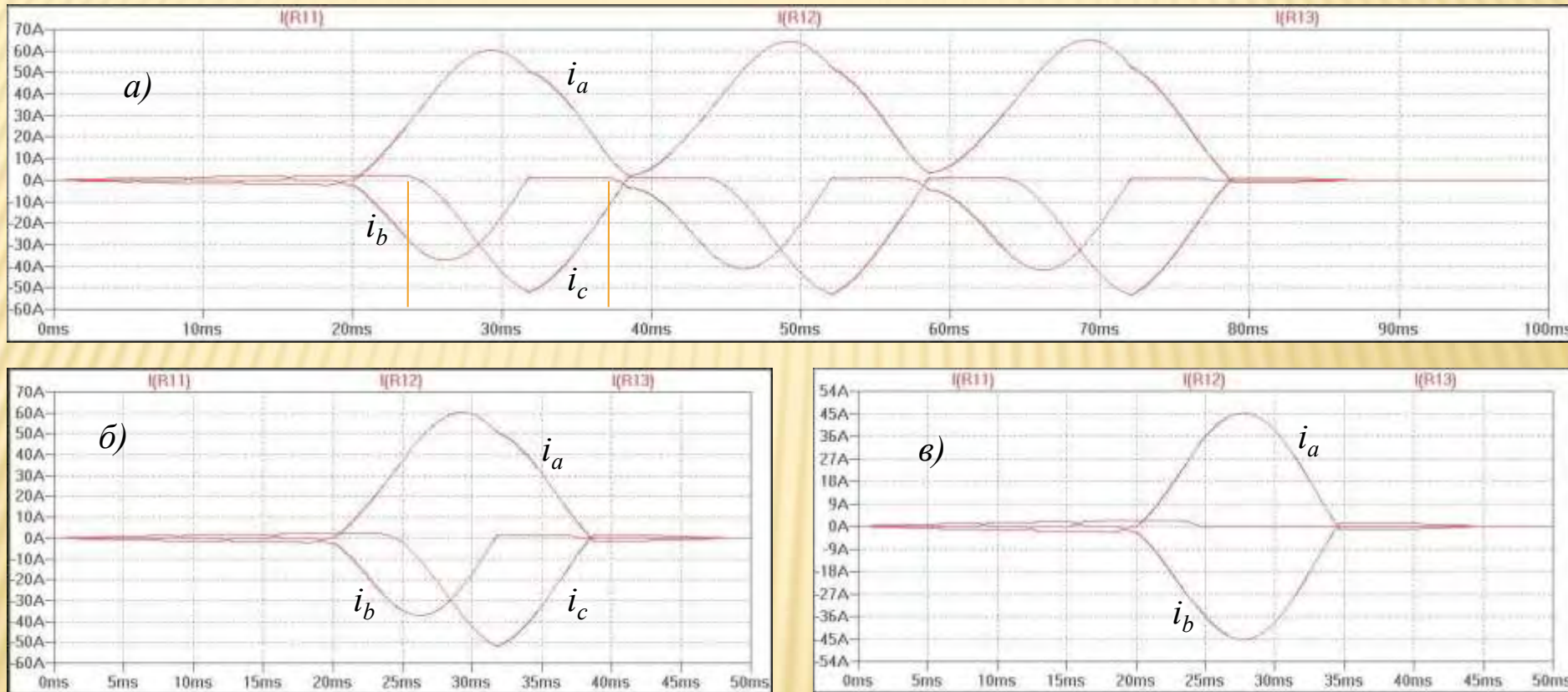
СУРЗА – система управления, релейная защита и автоматика

РАБОТА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА И НА ПРОПЛАВЛЯЕМОЙ ВЛ

Виды повреждений	Устройства релейной защиты			
	ПДФ	МТЗ-1	ЗОП	РКЗЗ
Междуфазное короткое замыкание на ВЛ	—	+	—	—
Короткое замыкание на землю между трансформатором и ДУ ВУПГ	+	+	—	+
Короткое замыкание на землю на ВЛ	—	+	—	+
Обрыв фазного провода ВЛ	—	—	+	—
Пробой плеча управляемого выпрямительного моста	+	+	—	—
Излишнее включение плеча коммутатора	—	+	—	—

ОСЦИЛОГРАММЫ ФАЗНЫХ ТОКОВ В РЕЖИМЕ ПРОБОЯ ПЛЕЧА УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО МОСТА В ФАЗЕ А

Компьютерная модель создана в программе LTspice IV



- а** – без воздействия на управление тиристоров плеч выпрямительного моста;
с воздействием на управление тиристоров плеч выпрямительного моста:
б – время срабатывания СУРЗА от 4 до 17 мс;
в – время срабатывания СУРЗА до 4 мс.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ИССЛЕДОВАНИИ НА ВЛ 35 кВ «Е-2 – ГРАЖДАНСКАЯ»

Установка макета ДУ ВУПГ на ПС 110 кВ «Ессентуки-2» МРСК Северного Кавказа

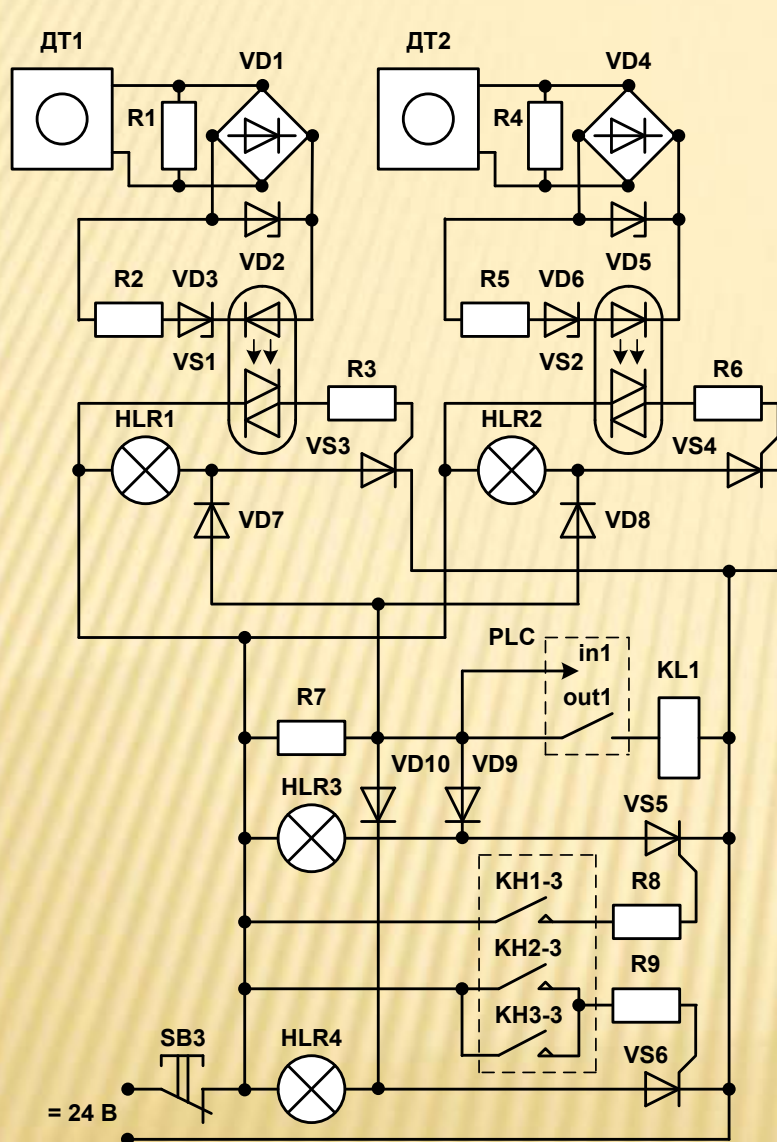


Макет установки ДУ ВУПГ на месте работы

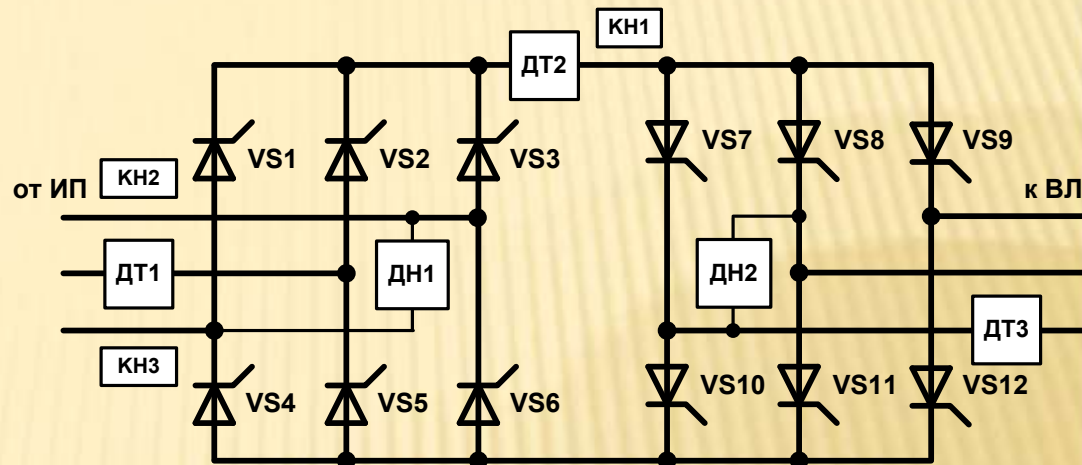


Подключение макета ДУ ВУПГ к первичному оборудованию подстанции

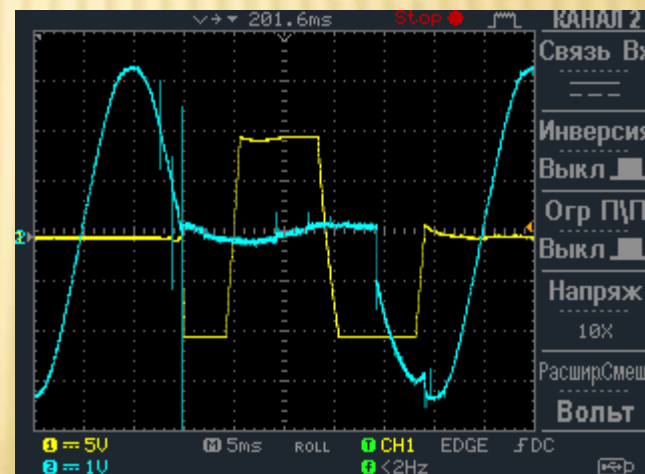
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ИССЛЕДОВАНИИ НА ВЛ 35 КВ Е-2 – ГРАЖДАНСКАЯ



Встроенная быстродействующая
релейная защита (ТО)



Упрощенная схема ДУ ВУПГ с
расстановкой датчиков и герконов

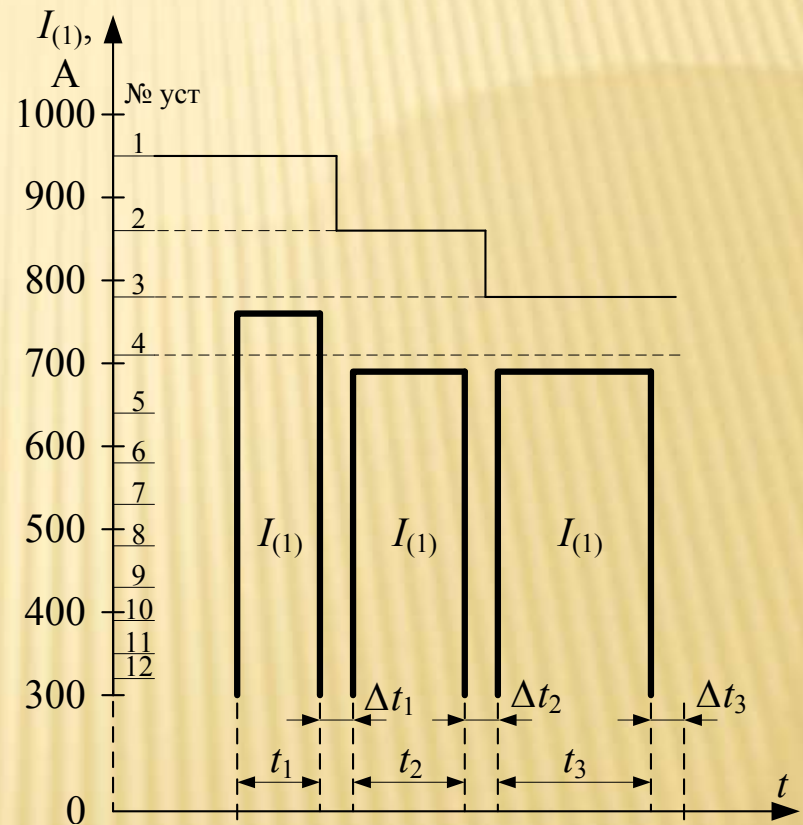


Ток (жёлтый) и напряжение (синий) на
входе ДУ ВУПГ при междуполюсном
коротком замыкании

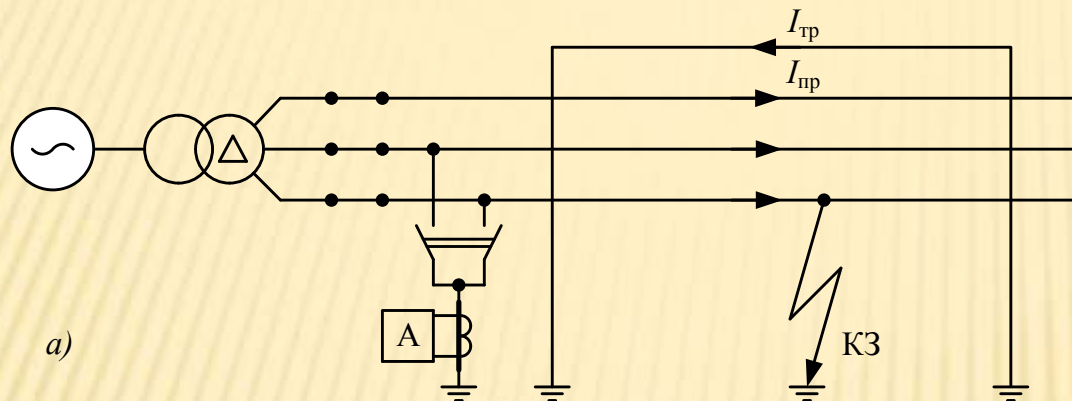
АДАПТИВНАЯ МНОГООРУПЕНЧАТАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ДИСКРЕТНО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЁДА НА ВЛ

От ДУ ВУПГ можно плавить гололёд на всех ВЛ 110, 35, 10 кВ, отходящих от подстанции. Каждая схема плавки гололёда (СПГ) должна иметь МТЗ со своей уставкой. Предлагается выбирать уставки из ряда со степенью около 10% по условию отстройки от максимального рабочего тока с автоматическим чувствованием после первого импульса тока.

На временной диаграмме для одной из СПГ показаны импульсы первичного тока $I_{(1)}$ в рабочих интервалах УУПГ, и переключения уставки от №1 до №3 с использованием предложенной схемы мультиМТЗ.

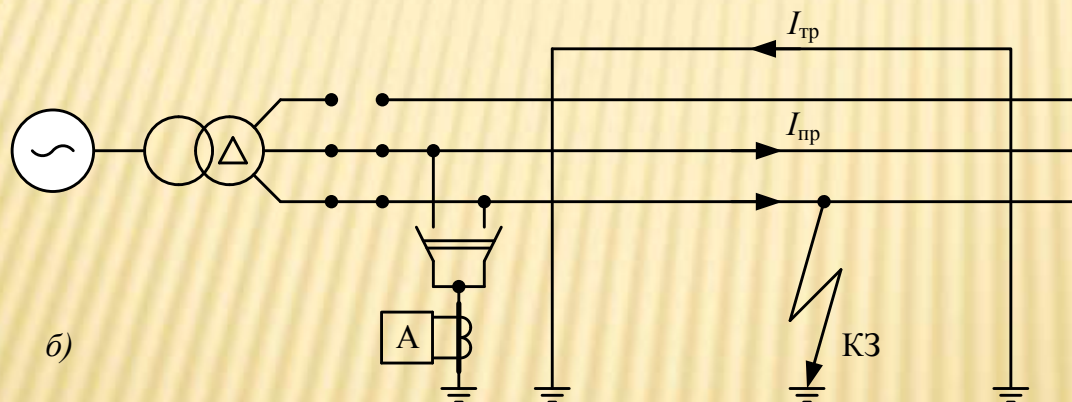


ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ДВУКРАТНЫМ ЗАМЕРОМ В СХЕМАХ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА



$$\alpha' = \frac{2}{1 + \sqrt{\frac{4}{3} \left| \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \right|^2} - \frac{1}{3}}$$

$$\frac{R_{\Pi} + R_{3y}}{2Z_{1ип}} \geq 7,8(3,8) \dots 12,4(5,4)$$



$$\alpha' = \frac{2}{1 + \left| \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} \right|}$$

$$\frac{R_{\Pi} + R_{3y}}{2Z_{1ип}} \geq 7,1(3,2) \dots 11,7(4,8)$$

Схемы способа определения расстояния до места повреждения двукратным замером в схемах плавки гололеда переменным током на фазных проводах: трехфазным (а) и двухфазным (б) коротким замыканием

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение дискретно управляемых выпрямительных установок плавки гололеда обеспечивает существенное уменьшение времени плавки гололеда на всех трех фазах ВЛ и снижение расхода электроэнергии.

2. Предложена РЗА, которая позволяет снизить сопротивление токоограничивающих реакторов благодаря ограничению длительности аварийного тока одним периодом. Это, в свою очередь, приводит к увеличению тока плавки, снижению времени плавки и расхода электроэнергии.

3. РЗА выполняет диагностические функции автоматического определения места повреждения выпрямительной установки и ВЛ.

4. Экспериментально на макете ДУ ВУПГ при испытаниях на ПС 110 кВ Ессентуки-2 подтверждено быстроедействие СУРЗА.

5. Планируется создание и внедрение опытного образца универсальной УПГ на 10 кВ импульсами постоянного тока одновременно на проводах трёх фаз и изолированных ГТ и индуктированным током повышенной частоты на многократно заземлённых ГТ ВЛ с релейной защитой и автоматикой на современной МП базе, учитывая результаты проведённой работы. 14